УДК 550.42:553.96/97(571.1)

АНОМАЛЬНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗОЛОТА В БУРЫХ УГЛЯХ И ТОРФАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов, С.Г. Маслов, В.С. Архипов, З.И. Павлов

Томский политехнический университет
E-mail: siarbuzov@mail.ru

Приводятся данные о содержании золота в углях и торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты. Впервые выявлены угольные пласты с аномально высокими концентрациями Au. Установлены основные закономерности накопления и распределения аномальных концентраций Au в угленосных отложениях и торфах. Изучены формы нахождения Au в торфах. Предложена модель накопления высоких концентраций Au в торфах и бурых углях региона.

За почти вековую историю изучения геохимии угольных месторождений накопилось значительное количество сведений об аномально высоких содержаниях золота в углях. Особенно многочисленны находки золотоносных углей в последние два десятилетия. Наиболее полный их обзор с учетом последних опубликованных данных приведен в работе [1].

Несомненно, что высокие уровни накопления золота в углях привлекают к ним внимание как к потенциальному сырьевому источнику благородных металлов. В связи с этим золото в угленосных отложениях в последнее время исследуют весьма активно. Тем не менее, несмотря на предпринимаемые усилия, его геохимия в углях еще почти не изучена. По-прежнему недостаточно изучены условия накопления золота в угольных пластах, остаются невыясненными причины и механизмы, обуславливающие образование аномально высоких его концентраций. Высказываются различные точки зрения на природу этих аномалий. Так В.В. Серединым [2] обосновывается флюидно-гидротермальная модель накопления Au в германиеносных углях Приморья. В то же время Г.М. Шор [3] показал механизм инфильтрационного концентрирования благородных металлов в углях в условиях стабильного режима Западно-Сибирской плиты.

В последние годы нами получены новые данные о распределении золота в торфах и бурых углях юго-восточной части Западно-Сибирской плиты. Выявлены угольные пласты и торфяные залежи с аномально высокими его содержаниями. Наличие в одном разрезе разновозрастных углей и современных торфов позволяет рассмотреть основные закономерности накопления и миграции золота в углеобразовательном процессе.

Методика исследований

Исследовано 22 углепроявления юрского возраста (тюменская свита), 2 месторождения и 5 проявлений палеогенового возраста (новомихайловская свита) и 14 месторождений торфа в юго-восточной части Западно-Сибирской плиты.

Опробование углей тюменской свиты выполнено по керну нефтепоисковых и разведочных скважин. Глубина залегания угольных пластов 2...3 тыс. м.

Угли палеогенового возраста опробованы как по керну разведочных скважин (Туганское и Таловское месторождения, Вершининское, Колпашевское, Тымское углепроявления), так и в естественном залегании (Реженское месторождение и Лагерносадское углепроявление).

Торф опробован с помощью торфяного бура поинтервально с интервалами при рядовом исследовании 0,5 м, при детальном – 0,05...0,1 м.

Всего изучено 1200 проб торфа, 80 проб углей юрского возраста и 68 проб палеогеновых углей.

Содержание Au определялось методами нейтронно-активационного анализа в ядерно-геохимической лаборатории Томского политехнического университета, работающей на базе исследовательского ядерного реактора НИИ ядерной физики при ТПУ. Использовалась методика традиционного инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) из навесок 200 мг (аналитик А.Ф. Судыко) и специально разработанная методика определения Au из навесок 5...10 г (аналитик В.М. Левицкий). Предел обнаружения Au по изотопу Au^{198} для ИНАА из навески 200 мг – $1{\cdot}10^{-6}$ %, для нейтронно-активационного анализа из навески 5...10 г – $1{\cdot}10^{-7}$ %.

Для контроля качества анализов часть проб была озолена, и в них параллельно с основной пробой изучено содержание золота в золе. Путем пересчета с угля или торфа на золу, и наоборот, производилось сопоставление результатов.

Формы нахождения элементов изучались на основе стандартных методик исследования группового состава торфа. Групповой состав изучался путем последовательной экстракции битумов, водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, гуминовых и фульвокислот по методу Инсторфа [4].

Основные результаты исследований

Содержание золота в углях и золах углей юрского возраста

Среднее содержание золота в углях юрского возраста в юго-восточной части Западно-Сибирской плиты существенно превышает его кларк для осадочных пород и составляет для 22 изученных углепроявлений 30 мг/т (табл. 1). Анализ золы угля и расчет средневзвешенного содержания в золе дает величину 260 мг/т при средней зольности углей 11,7 %.

Таблица 1. *Среднее содержание золота в углях и золах углей юрского возраста, мг/т*

Месторождение, проявление угля	Число проб	A^d, %	В угле	В золе угля
Ай-Пимское	2	15,2	1,2	7,9
Арчинское	2	12,1	<1	<10
В. Тромьеганское	1	2,2	42	1900
Герасимовское	5	8,8	22	250
Григорьевское	2	11,7	<1	<10
Кавринское	1	15,7	<1	<10
Конитлорское	2	6,6	8,1	123
Лугинецкое	4	19,5	41	208
Нижне-Табаганское	1	11,5	86	750
Приграничное	2	18,6	<1	<10
Северо-Калиновое	5	3,3	56	1700
Ступенчатое	2	3,9	47	1200
Трассовое	2	13,4	37	283
Широтное	2	4,6	41	902
Южно-Табаганское	3	28,0	74,2	265
Среднее	–	11,7±1,8	30±8	260±63
Угольный кларк [1]			1...5	

Примечание: A^d – зольность на сухое вещество, %

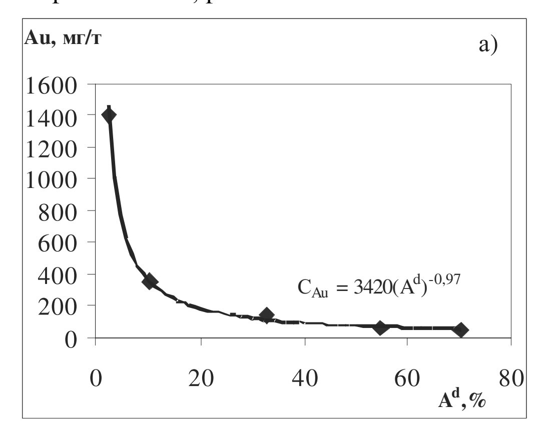
В некоторых угольных пластах концентрация металла в золе угля превышает 1 г/т, в единичных случаях достигая 4,4 г/т. Наиболее высокие уровни накопления характерны для углепроявлений в южной части изученного района. Здесь повышенные концентрации установлены не только для углей, но и для углистых сланцев. В золе углистых сланцев выявлены аномалии до 220 мг/т Au. Отмечена тенденция уменьшения содержания металла в углях в направлении от периферии к центру Западно-Сибирской плиты.

Характерно, что все наиболее значительные аномалии в золах углей связаны с малозольными углями с зольностью до 5 %. Обычно они приурочены к маломощным ультрамалозольным пластам с зольностью 1,4...2,5 %. Приуроченность аномально высоких концентраций золота к таким углям особенно отчетливо видна при усреднении данных по интервалам зольности (табл. 2).

Таблица 2. *Содержание золота в углях и углистых породах разной зольности, г/т*

Зольность, A^d, %	Средняя зольность интервала, %	Число проб	В золе угля	В угле
60...80	70,2	11	0,051	0,034
50...60	54,8	7	0,065	0,037
20...50	32,9	7	0,140	0,046
5...20	10,3	16	0,360	0,027
<5	2,4	13	1,400	0,034

Зависимость содержания Au (C_{Au}) в золе от зольности хорошо описывается степенной функцией, рис. 1. Для угля отчетливо выраженной связи содержания золота с зольностью не установлено. Приближенно она может быть описана полиномом второй степени, рис. 1.



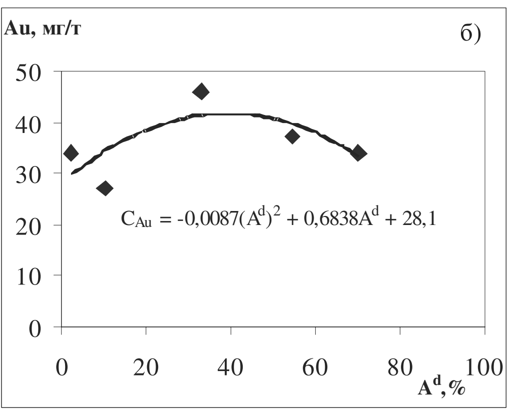


Рис. 1. *Зависимость содержания золота от зольности в: а) золах углей и б) углях*

Содержание золота в углях и золах углей палегенового возраста

Палеогеновое угленакопление в регионе представлено преимущественно средне-высокозольными незрелыми рыхлыми бурыми углями и лигнитами. Содержание золота в бурых углях и лигнитах несколько ниже, чем в углях юрского возраста, но

также значительно выше кларка для осадочных пород. Среднее, рассчитанное для 7 месторождений и проявлений угля, составляет 10,6 мг/т (табл. 3).

Заметим, что эти угли ущественно отличаются от углей юрского возраста более высокой зольностью. Угли со средней зольностью (10...20 %) по содержанию золота близки к аналогичным юрским углям. Здесь также просматривается обратная зависимость содержания Au в золе угля от зольности.

Таблица 3. *Среднее содержание Au в углях и золах углей палеогенового возраста, мг/т*

Месторождение, проявление угля	Число проб	A^d, %	В угле	В золе угля
Вершининское	2	12,2	22	180
Колпашевское	2	11,5	24	210
Лагерносадское	2	23,7	26	140
Реженское	1	17,3	<10	Не опр.
Таловское	44	32,1	2,0	6,2
Туганское	2	12,4	<10	Не опр.
Тымское	2	Не опр.	<10	Не опр.
Среднее	–	18,2±3,4	10,6±4,8	88±36

Содержание золота в торфах и золах торфов

Среднее содержание золота в торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты, оцененное как среднее для 13 месторождений (1172 пробы) составляет 6,0 мг/т (табл. 4). Эта величина близка к оценке его содержания в торфах юга Западной Сибири [5], выполненной по 248 пробам из 10 месторождений. Обе эти цифры значительно превышают кларковое содержание Au в осадочных породах и в земной коре в целом.

На фоне средней величины 6 мг/т заметна резкая дифференциация уровней накопления элемента в разных месторождениях. Средние содержания Au в торфе изменяются от 0,6 до 16 мг/т при частных аномалиях до 160 мг/т. В золе торфа его концентрация достигает 480 мг/т.

Таблица 4. *Содержание золота в торфах и золах торфов юго-восточной части Западно-Сибирской плиты, мг/т*

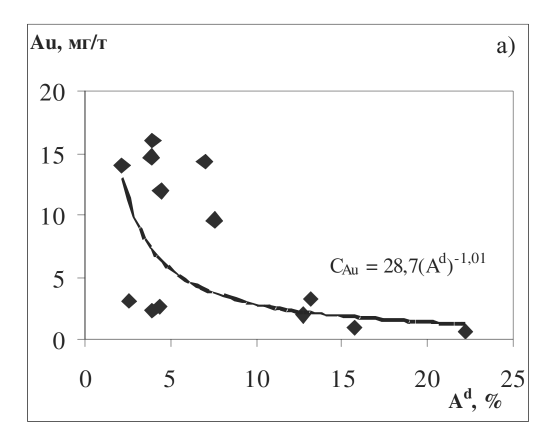
Месторождение	Число проб	A^d, %	В торфе			В золе торфа	
			$X_{ср}$	X_{min}	X_{max}	X_{min}	X_{max}
Чистое	4	4,4	12,0	7,0	19,0	не опр.	180
Семиозерье	122	4,0	16,0	<1,0	97,5	не опр.	не опр.
Водораздельное-2	31	3,9	14,7	<1,0	90,3	<1,0	170
Пуховское	32	7,0	14,3	<1,0	160	<1,0	220
Саим	2	2,2	14,0	10,0	18,0	130	480
Березовая Грива	121	7,5	9,6	<1,0	112	<1,0	160
Клюквенное	94	13,2	3,3	<1,0	76,3	не опр.	не опр.
Айгаровское	72	2,5	3,1	<1,0	37,3	не опр.	не опр.
Колпашевское	90	4,3	2,6	<1,0	17,4	<1,0	220
Васюганское	181	4,0	2,4	<1,0	15,9	не опр.	не опр.
Суховское	142	12,7	1,9	<1,0	11,2	не опр.	не опр.
Гусевское	90	15,8	0,9	<1,0	11,8	не опр.	не опр.
Аркадьевское	101	22,3	0,6	<1,0	10,0	<1,0	38,0
Среднее	–	8,7±1,7	6,0±1,4	–	–	–	–

Примечание: $X_{ср}$; X_{min} и X_{max} – среднее, наименьшее и наибольшее содержание, мг/т

Более высокие содержания Au характерны для месторождений малозольного верхового и переходного торфа. Проведенные ранее исследования [6] показали, что содержание золота в торфах региона закономерно убывает в ряду: верховые (7,8 мг/т) – переходные (4,7 мг/т) – низинные (2,3 мг/т). При этом его концентрация в торфах одного типа, но из разных месторождений может различаться весьма существенно (табл. 4).

Отчетливо обогащены золотом месторождения правобережья р. Оби, залегающие на промытых песчаных грунтах, не имеющих глинистых водоупоров. Левобережные торфяники, подстилающиеся многометровой толщей глинисто-карбонатных отложений, существенно обеднены золотом по сравнению с правобережными.

Проведенные недавно исследования крупнейшего на планете болотного массива – Большого Васюганского болота [7], показали, что содержание золота в верховом торфе возрастает в северо-западном направлении с 1,9 мг/т (участок № 5) до 8,1 мг/т (участок Югинский) и даже до 34,8 мг/т (верховья р. Васюган). Аналогичная тенденция характерна для переходного и низинного типа торфов Васюганского болота. Эти факты подчеркивают региональную латеральную неоднородность распределения золота.



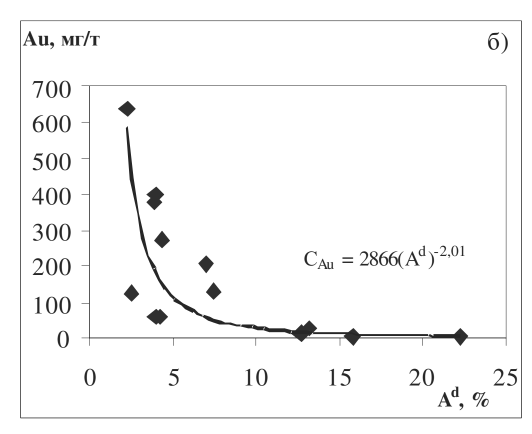


Рис. 2. *Зависимость содержания золота от зольности: а) в торфах и б) в золах торфов*

В разрезе торфяной залежи распределение Au также весьма неоднородно. На фоне рядовых содержаний выделяются обогащенные горизонты. При детальном опробовании этих горизонтов установлено постепенное увеличение содержания Au вверх по разрезу, а затем уменьшение. Эти вариации не связаны с изменением зольности, что позволяет связать их с изменением состава питающих торфяник вод. Часто повышенные уровни накопления металла приурочены к приповерхностным и придонным участкам торфяной залежи. В верхних частях залежей в золе сфагнового мха повсеместно устанавливается и высокое содержание Ag на уровне 3...5 г/т.

Для изученных торфов отчетливо видна зависимость уровней накопления Au от зольности (рис. 2). В целом для региона содержание металла в торфах и особенно в золах торфов обратно пропорционально зольности. Высокозольный торф характеризуется низким содержанием золота. Уменьшение зольности сопровождается возрастанием концентрации Au. Взаимосвязь этих величин описывается степенными функциями, рис. 2.

Формы нахождения золота в бурых углях и торфах

Высокие уровни накопления Au в малозольных углях и верховых торфах позволяют предполагать важную роль органического вещества в его концентрировании. Действительно, характер связи содержания Au в углях, торфах и их золах с зольностью (рис. 1, 2) свидетельствует о преимущественно органической форме нахождения золота. Согласно математическим моделям И.В. Рязанова и Я.Э. Юдовича [8] для торфа такой характер распределения может быть проинтерпретирован как преобладание биогенного золота. Для угля могут быть выделены два типа носителя элемента (органическое и минеральное вещество) при преобладании его связи с органическим веществом.

Для проверки выводов о важной роли органического вещества в первичном накоплении золота в углях нами было выполнено изучение верховых и низинных торфяников с околокларковым и аномальным его содержанием. Низинные типы залежей рассматриваются как предшественники нормальнозольных и высокозольных углей, а верховые – как представители мало- и ультрамалозольных. Результаты исследований показали, что более 95 % золота связано с гумусовыми кислотами (преимущественно гуминовыми) и с негидролизуемым лигнино-целлюлозным остатком [9].

Экстракция из торфа битумов путем обработки бензолом обусловливает увеличение содержания Au в остаточной фракции, что свидетельствует о низком его содержании в бензольном битуме. Обработка слабым (4...5 %) раствором HCl также не приводит к существенному уменьшению содержания золота. Из девяти изученных проб лишь в одном случае в сухом остатке вытяжки из верхового ультрамалозольного торфа (A^d=1,4 %) отмечено значимое содержание Au (6,7 мг/т). В остальных пробах золотом обогащались остаточные фракции, что свидетельствует о незначительной роли водорастворимых и легкогидролизуемых веществ в его концентрировании. Так как слабые солянокислые растворы, применяемые для извлечения легкогидролизуемых веществ, обусловливают также извлечение ионообменных форм металлов, сконцентрированных на гуминовых веществах, можно заключить, что Au имеет прочную связь с органическим веществом по типу хелатных или металлорганических комплексов. Балансовые расчеты показывают, что в щелочную вытяжку при извлечении гуминовых кислот переходит 40...60 % Au и столько же остается в негидролизуемом лигнино-целлюлозном остатке. Детальное изучение лигнино-целлюлозного остатка верхового торфа показало, что лишь небольшое количество металла сосредоточено в остаточной целлюлозе. Основное количество золота здесь содержится в нейтральном негидролизуемом остатке – лигнине (табл. 5). В негидролизуемом остатке оно может находиться как в минеральной форме, так и в виде соединений с органическим веществом (например, в высокомолекулярных нерастворимых в NaOH гуматах и гуминах). По мнению В.Е. Раковского и Л.В. Пигулевской [10], нерастворимая в щелочи "нейтральная часть" негидролизуемого остатка не может быть приравнена к лигнину, так как по содержанию азота, карбоксильных групп и другим показателям она ближе к гуминовым кислотам, чем к лигнину. Возможно, этим объясняется высокое содержание в негидролизуемом остатке золота, сопоставимое с содержанием в гуминовых кислотах.

Такой характер распределения по фракциям группового состава типичен в равной мере как для верхового, так и для низинного торфа. Таким образом, очевидно, что на стадии торфонакопления концентрирование Au происходило в органическом, а не в минеральном веществе, преимущественно за счет гумусовых кислот и органических веществ, содержащихся в "нейтральной части" негидролизуемого остатка.

Таблица 5. *Выход золота во фракции группового состава верхового торфа*

Групповой состав торфа	Выход фракций, %	Содержание Au, мг/т	Выход Au во фракции, %
Исходный торф	100	6,4	100
Бензольный битум	5,3	0,4	0,3
Водорастворимые и легкогидролизуемые вещества	34,3	0,1	0,6
Гуминовые кислоты	18,6	11,0	32,0
Фульвокислоты	23,2	2,0	8,2
Целлюлоза	10,4	4,7	7,6
Лигнин	8,2	40,0	51,3

Условия накопления золота в торфах и бурых углях

Оценка условий накопления высоких содержаний золота в торфах и углях предполагает изучение трех основных проблем:

– выявление источника поступления элемента в изучаемый объект;
– механизма транспортировки элемента от источника к объекту концентрирования;
– механизма концентрирования элемента в торфах и углях.

В качестве источника золота, необходимого для образования аномальных его концентраций в углях и торфах Западно-Сибирской плиты, могут рассматриваться месторождения Au и горные породы с повышенным его содержанием, широко распространенные в юго-восточном, южном и юго-западном обрамлении бассейна торфонакопления [11]. Формирование коры химического выветривания в различных районах складчатого обрамления практически непрерывно от триаса по настоящее время обеспечило не только образование элювиальных месторождений остаточной коры выветривания [12], но и перевод части Au в подвижную форму и его транспортировку в районы древнего и современного торфонакопления.

Критерием связи выявленных аномалий золота в углях и торфах со структурами обрамления может служить их приуроченность к периферии бассейна, к выступам фундамента с известными гидротермальными проявлениями и месторождениями Au-Sb, Au-Ag и Au-As-Ag руд, закономерное снижение уровней накопления металла от периферии к центру бассейна торфонакопления.

Приуроченность аномальных содержаний золота к малозольным торфам и углям позволяет предполагать преимущественно водную миграцию золота к местам его концентрирования. Конкретные формы переноса широко обсуждаются в литературе [1]. В условиях Западной Сибири возможна транспортировка Au как в виде хлоридов, так и в форме Au-органических комплексов. За возможный механизм переноса в виде органических комплексов говорит тот факт, что Au обогащены верховые торфяники. Воды, питающие их, крайне слабо минерализованы, но содержат значительное количество органических примесей, в том числе гумусовых кислот. Для таких вод характерны повышенные концентрации микроэлементов. Повышенные содержания Au в водах региона подтверждаются наличием высоких его концентраций в сухих остатках после выпаривания воды [13].

В торфяник Au поступает и с обломочным материалом в виде взвесей и пылевых атмосферных выпадений. Однако ярко выраженная отрицательная связь содержания золота с зольностью позволяет считать роль кластогенного материала в накоплении аномальных его концентраций незначительной. Массовая доля кластогенного золота в таких углях не превышает 10...20 %. В условиях сильного техногенного влияния на окружающую среду в последние 50...70 лет существенным источником поступления Au в торфяник могли стать пыле-аэрозольные выпадения. На это указывает высокое содержание металла в твердом остатке снега [13]. Такой механизм может быть ответственен за обогащение верхних частей торфяных залежей, но маловероятно, чтобы он мог реализоваться в период формирования юрских и палеогеновых углей.

Аномальные содержания Au в мало- и ультрамалозольных торфах и углях позволяют предполагать биогенно-сорбционный механизм концентрирования Au и сопутствующих ему Ag и Sb. Об этом свидетельствуют недавно опубликованные данные о содержании Au в торфообразующей растительности и торфах Большого Васюганского болота [7]. Согласно этим данным, содержание металла в растениях выше, чем в сформированном из них торфе. Учитывая, что питание верхового торфяника происходит в основном за счет атмосферных осадков, отчасти за счет капиллярного подъема грунтовых вод и извлечения питательных веществ корневой системой растений из подстилающих грунтов, можно заключить, что основным источником золота были грунтовые воды. Растения извлекали ионные формы Au из подстилающих водоносных горизонтов. Этим обусловлено значительное обогащение торфяников, залегающих на песчаных грунтах по сравнению с торфами, залегающими на глинистых отложениях.

О биогенно-сорбционном механизме накопления Au в торфах и углях свидетельствуют и результаты изучения связи его содержания с зольностью. Увеличение зольности сопровождается резким уменьшением концентрации элемента в золе углей и торфов. Это означает, что поступавший в современный или палеоторфяник кластогенный материал был беден Au и служил разбавителем обогащенной металлом биогенно-сорбционной золы. Поэтому бедны золотом золы низинных торфяников и зольных углей. Теоретически, в низинном торфянике с более активным гидрогеологическим режимом содержание золота должно быть выше, т.к. в нем существенно лучше условия для сорбции металлов, чем в верховом. Несмотря на это, низинный торф беднее золотом, чем верховой. Следовательно, в углях и торфах с аномальными содержаниями Au основным механизмом его накопления является биогенное концентрирование.

В дальнейшем в процессе гумификации происходило высвобождение металла и захоронение его в форме комплексных гуматов и иных устойчивых органических соединений. Так как сорбционная емкость органического вещества по отношению к ионам благородных металлов весьма высока даже для углей высокой степени метаморфизма [14], угли в естественных условиях не достигают предела насыщения Au и сохраняют его без видимых потерь на всех этапах углеобразования.

Выводы

Уголь и торф юго-восточной части Западно-Сибирской плиты геохимически специализирован на золото. Здесь выявлены угольные пласты и торфяные залежи с аномально высокими содержаниями

золота, вплоть до промышленно значимых концентраций.

Основным носителем и концентратором Au в торфах и углях является органическое вещество. В торфах от 40 до 60 % металла содержится в гумусовых кислотах. Столько же содержится в негидролизуемом остатке.

Высокая золотоносность углей и торфов отдельных районов Западно-Сибирской плиты может рассматриваться как благоприятный поисковый критерий золотоносности структур ее обрамления.

Для определения промышленной значимости выявленных объектов требуется разработка технологических схем извлечения золота и сопутствующих металлов и их последующая геолого-экономическая оценка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Золото в углях // Литогенез и геохимия осадочных формаций Тимано-Уральского региона (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН; Вып. 116). – 2004. – № 5. – С. 80–109.
2. Середин В.В. Золото и платиноиды в германий-угольных месторождениях: формы нахождения, условия накопления, перспективы освоения // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов: Матер. Всерос. симпоз. – М.: ООО "Связь-Принт", 2002. – С. 374–379.
3. Шор Г.М., Дитмар Г.В., Комарова Н.И., Голикова О.В. О формировании инфильтрационного оруденения элементов платиновой группы в чехле Западно-Сибирской платформы// Доклады РАН. – 1996. – Т. 351. – № 4. – С. 525–527.
4. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
5. Матухина В.Г., Попова М.В., Никитина Е.И. Средние содержания химических элементов в болотных образованиях юга Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. – 2003. – № 3. – С. 96–98.
6. Бернатонис В.К., Архипов В.С., Резчиков В.И. Золотоносность торфов Томской области // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления: Матер. VIII регион. конф. – Тюмень, 1991. – С. 86–87.
7. Бернатонис В.К., Архипов В.С., Здвижков М.А., Прейс Ю.И., Тихомирова Н.О. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. – Томск: Ин-т оптики атмосферы СО РАН, 2002. – С. 204–215.
8. Рязанов И.В., Юдович Я.Э. К теории связи содержаний элементов-примесей в углях с зольностью углей // Литология и полезные ископаемые. – 1974. – № 6. – С. 53–67.
9. Арбузов С.И., Маслов С.Г., Рихванов Л.П., Судыко А.Ф. Формы концентрирования золота в углях // Геология и охрана недр. – 2003. – № 3. – С. 15–20.
10. Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. – М.: Недра, 1978. – 231 с.
11. Щербаков Ю.Г., Калинин Ю.А. Геохимические особенности и минерагения южной части Западно-Сибирского койлогена // Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: Матер. научн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – С. 91–95.
12. Золотоносность кор выветривания Салаира / Н.А. Росляков, Г.В. Нестеренко, Ю.А. Калинин, И.П. Васильев и др. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ, 1995. – 170 с.
13. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. Индикаторная роль солевых образований в воде при геохимическом мониторинге // Известия вузов. Геология и разведка. – 2004. – № 1. – С. 67–69.
14. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Корочанцев А.В. и др. О связи сорбционной емкости органического вещества пород по отношению к благородным металлам с его структурой // Геохимия. – 1995. – № 8. – С. 1191–1198.

УДК 624.131.4